

種々の交通制御方式が混在した環境の評価 —伝統的な信号制御方式/高度デマンド信号制御方式/ラウンドアバウトの混在—

高田 悠貴[†] 長谷川 孝明[†]

[†] 埼玉大学大学院 理工学研究科 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 225

E-mail: † {yuki, takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

あらまし 本稿では、伝統的な信号制御方式、高度デマンド信号制御-II方式(Advanced Demand Signals II scheme ultimate), ラウンドアバウトという性質の異なる交通制御方式が混在する次世代の平面交差環境について述べている。まず、車線数の異なる交差点間での道路接合部に関して整理を行った後に、ラウンドアバウトと信号化交差点の統一的な比較基準の一つとして道路接合部まで含めた比較基準を検討している。つぎに、検討した比較基準を導入したシミュレータを構築し、車両交通流の観点から混在環境の評価を行っている。本稿では両側2-3車線で連続する3交差点について検討を行い、次世代平面交差環境の性質を明らかにしている。

キーワード 伝統的な信号制御方式、高度デマンド信号制御方式、ラウンドアバウト、混在環境

Evaluation for mixed environments of traffic control schemes

—mixture of traditional signal scheme/advanced demand signals scheme/roundabouts—

Yuki Takada[†] and Takaaki Hasegawa[†]

[†] Graduate School of Science and Engineering, Saitama University
255 Shimo-okubo, Sakura-ku, Saitama City, Saitama Pref., 338-8570 Japan

E-mail: † {yuki, takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

Abstract This paper describes next generation intersections environments, that is, the traditional signal scheme, advanced demand signals-II scheme ultimate and roundabouts are mixed. We evaluate the mixed environments by a constructed simulator after considering a comparison criterion. This paper examines three intersections with two or three lanes, the results show that next generation environments' properties are clarified.

Keyword traditional signal scheme, advanced demand signals scheme, roundabouts, mixed environments

1. まえがき

近年、基本的に信号機を用いず道路形状のみで制御を行うラウンドアバウトの普及が進行しつつあり、欧米諸国では既に導入が盛んに行われている。日本でも、信号化交差点からラウンドアバウトへの改良が文献[1]のプロジェクトで行われており、無信号六叉路交差点からラウンドアバウトへ変更するといった軽井沢町での社会実験[2]などが例として挙げられる。また平成25年の道路交通法改正では、ラウンドアバウトを環状交差点として定義し通行方法に関しても規定されている。一方でユビキタス・センサ・ネットワーク環境の実現可能性が高まりつつあり[3-5]、その環境を前提とし、コストはかかるが時々刻々の個々の交差点利用者の情報を信号表示に直接反映し交通需要に適応的な制御を行う高度化信号制御方式として高度デマンド信号制御方式[6]などの実現が考えられる。以上のことから次世代の平面交差環境においてはラウンドアバウト、

高度デマンド信号制御方式、そしてサイクル・スプリット・オフセットを制御パラメータとして使用する伝統的な信号制御方式の3種が、コストや性能の観点で混在することが予想される。

従来、これらの方式において単一の交通制御方式のみで構成された環境の比較評価が行われている[6-13]。これらを分類すると、同種類の交通制御方式の性能比較と性質の異なる種類の交通制御方式の性能比較に分けられる。前者については、文献[7,8]などでは伝統的な信号制御方式の性能比較が行われている。また文献[9]では大きさの異なるラウンドアバウトの性能比較が行われている。一方で性質の異なる種類の交通制御方式の比較に関して、文献[10]では、ラウンドアバウトと伝統的な信号制御方式の性能比較が行われており、文献[6,11]では、伝統的な信号制御方式と高度化信号制御方式の性能比較が行われている。さらに文献[12,13]では、信号化交差点とラウンドアバウト

の統一的な比較基準を提案したうえでラウンドアバウトと伝統的な信号制御方式、高度化信号制御方式に関してそれぞれ単一に性能評価を行いその結果を比較している。

しかしこれらの従来研究は、個々の交通制御方式の性能を明らかにするために単一の交通制御方式のみで構成された環境での性能評価を行っており、混在環境に焦点を当てた研究ではない。

そこで本論文では、伝統的な信号制御方式、高度化信号制御の1つである ADS-II u 方式(Advanced Demand Signals II scheme ultimate)、ラウンドアバウトという性質の異なる交通制御方式が混在する次世代の平面交差環境を評価するための比較基準の整理と、それに基づいた混在環境評価用シミュレータを構築し、それを用いた混在環境の評価を行っている。

2. 従来の評価

2.1. 比較対象

2.1.1. 伝統的な信号制御方式

伝統的な信号制御方式は現行のセンサ（トラフィックカウンタなど）によって取得したある期間内の通過車両台数や、平均速度、総遅れ時間などの統計量データに基づき、サイクル、スプリット、オフセットを最適化した上、この制御パラメータを用いて、現示を間接的に決定する。例えば文献[14]では、現行センサから得られた交通量データを分析し、数サイクルごとに交通需要に適応的に制御パラメータを調整する信号制御システム SCAT が提案されている。

伝統的な信号制御方式はその性質上、制御パラメータそのものが現示出力に関する自由度を制約する。とくに、一般的に交通量が少ない場合に性能が劣化する。

2.1.2. 高度化信号制御方式としての ADS 方式

現在、ユビキタス・センサ・ネットワーク環境の実現が高まりつつあり[3-5]、その環境から得られた時々刻々の個々の車両の位置や速度情報を直接信号表示に反映する信号制御の考え方[6]が存在する。これは将来訪れうる環境を前提としたサイクル・スプリット・オフセットという制御パラメータに拘束されない信号制御方式を可能とすることを意味し、文献[11]では時々刻々の個々の交差点利用者の位置や速度、アイドリング時間を直接信号表示に反映可能な ADS-II u 方式が提案されている。

ADS-II u 方式は、まず交差点利用者(車両や歩行者)のデマンドをデマンド判定ルール(文献[11]参照)に基づき信号表示の維持または変化を希望するデマンドに分類する。そのうえで時々刻々の個々の交差点利用者の位置、速度やアイドリング時間に基づいて、信号表

示の維持を希望するデマンドの強さ(信号表示の維持を希望するデマンド評価値)と変化を希望するデマンドの強さ(信号表示の変化を希望するデマンド評価値)を1秒間隔で算出し、それぞれの総デマンド評価値を比較し大きい方の信号表示を出力する(計算方法は文献[11]参照)。また隣接交差点との連携を考慮する場合、隣接交差点のデマンド評価値を、連携係数を用いて重みづけし自交差点に反映させる(計算方法は文献[11]参照)。これにより伝統的な信号制御方式より交通需要に適応的な制御が可能となりうるが現行センサでは得られない時々刻々の交差点利用者の位置や速度情報が提供されるユビキタス・センサ・ネットワーク時代の高度なセンサが必要である。

2.1.3. ラウンドアバウト

ラウンドアバウトは、基本的に信号機を用いずに道路の形状のみで交差点利用者を通りかせる円形の交差点である(図1)。車両は中央島の存在や道路形状により減速しつつ、環道に空きがあることを確認してから環道に進入する。

ラウンドアバウトは、上述したような速度抑制効果に加え、車両間交錯点の数が信号化交差点より少ない、また交錯角度の観点からも、もし事故が発生したときに車両同士は側面接触で済むと考えられ、事故の規模においての安全面は優れている。また伝統的な信号化交差点に比べ、信号機を基本的に用いないためメンテナンスコストが小さく、エコである。多岐交差点などの特殊な道路形状の交差点への導入にもラウンドアバウトは有効であるといわれている[15]。さらに停電時においても利用者を制御可能である[15]。しかし信号化交差点に比べ、閑散時に有効であるが、混雑時には性能が大きく劣化する[12,13]。

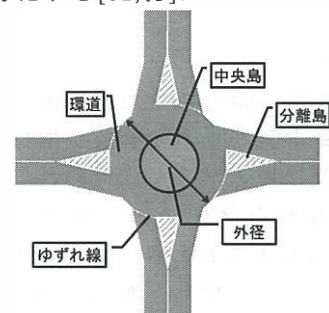


図1 ラウンドアの形状と構成要素

2.2. 信号化交差点とラウンドアバウトの比較基準

文献[13]では、ラウンドアバウトと信号化交差点を統一的かつ定量的な性能比較するための比較基準(固定点同一の基準、面積同一の基準、車線数同一の基準)が提案されている。

固定点同一の基準(図2参照)とは、道路を構成する主要な基点の位置をラウンドアバウトと信号化交差点で同一にしたものである。比較条件は、既存の道

路領域とそれ以外の領域の境界上に複数の固定点を配置し、それらの固定点によって囲まれた領域を道路領域として最大限に利用することである。この比較基準の意義は、既存の道路環境以外を変更できない場合の性能比較が行える点である。

車線数の同一の基準(図3参照)とは、車線数をラウンドアバウトと信号化交差点で同一にしたものである。比較条件は、柔軟に利用できる土地が交差点の周囲に存在することである。この比較基準の意義は、交差点周辺の土地利用の制約が十分小さい場合のラウンドアバウトと信号化交差点の性能比較が行える点である。

面積同一の基準(図4参照)とは、交差点からある範囲内を交差点付近と定義し、その範囲内の道路利用面積のみをラウンドアバウトと信号化交差点で同一にしたものである。比較条件は、交差点の周囲に柔軟に利用できる土地が存在することである。この比較基準の意義は、交差点周辺の地権者が土地の等価交換に応じる場合の性能比較が行える点である。

しかし隣接交差点間で車線数が異なる場合の道路接合部まで含めた議論は行われていない。このことから次節では、隣接交差点間の道路接合部に関して整理を行い、道路接合部まで含めた面積同一の基準について検討を行う。

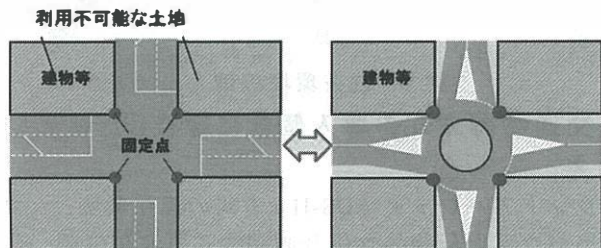


図2 固定点同一の基準

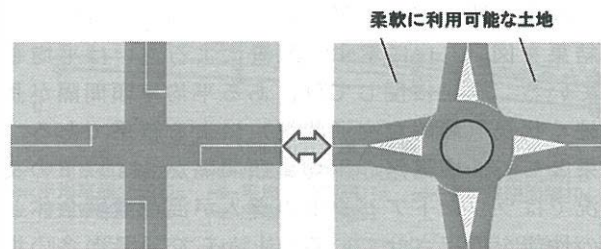


図3 車線数同一の基準

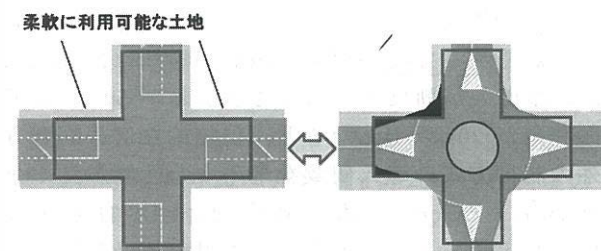


図4 面積同一の基準

3. 混在環境の比較基準に関する整理

3.1. 交差点間の道路接合部に関する整理

次世代平面交差環境を考えると、両側三車線の信号化交差点から流入道路が両側二車線、かつ環道一車線の標準的なラウンドアバウトへの置き換えなどが容易に考えられる。そのため交差点だけではなく交差点間の道路接合部まで含めるゾーンという考え方も比較基準における考え方の1つである。本章節では車線数の異なる交差点間の道路接合部に関して議論を行う。ラウンドアバウトと信号化交差点の道路接合部に関して整理すると以下のようなパターンが考えられる。

(L は交差点間の距離)

1. 信号化交差点を基準に、ラウンドアバウトを含むゾーンのみで道路接合部を構築(図5)
2. ラウンドアバウトを基準に、信号化交差点を含むゾーンのみで道路接合部を構築(図6)
3. ラウンドアバウトと信号化交差点の道路接合部の扱いを平等とし、道路接合部を構築(図7)

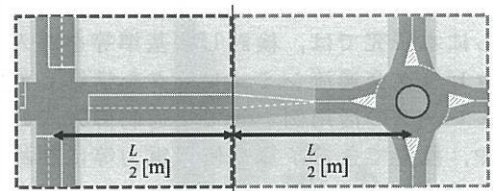


図5 パターン1

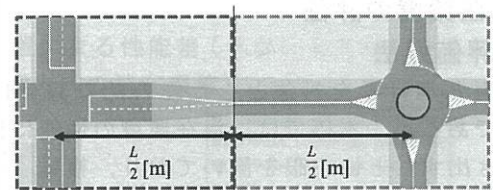


図6 パターン2

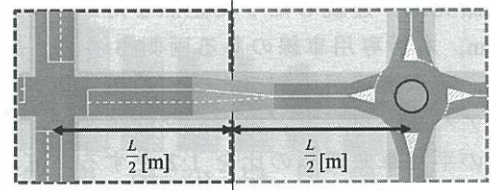


図7 パターン3

パターン1,2は、ラウンドアバウトと信号化交差点の内どちらか一方の交差点が既存であり、かつその既存の道路形状の変更を希望しない場合に考えられるパターンである。パターン3は、例えば震災復興の道路再構築や使用していない土地で新たに街作りを考えたい場合など、複数交差点ごと導入する交通制御方式を考える際にゾーンの土地の扱いを両種類の交差点で平等としたい場合に考えられるパターンである。

3.2. 道路接合部まで含めた比較基準の検討

本比較基準は、道路接合部を考慮し図5-7のように、交差点付近だけでなく、道路接合部まで含めたゾーンとして土地の等価交換を考えた場合のラウンドアバウトと信号化交差点を統一的に扱う1つの比較基準である。この基準の特徴は交差点間の距離 L に依存する。たとえば流入道路が二車線の標準的なラウンドアバウトと両側三車線の信号化交差点の混在環境を考えると、 L が大きくなるにつれ、ラウンドアバウトの二車線部分の面積と信号化交差点の三車線部分の面積の差が大きくなり、信号化交差点を含むゾーンとラウンドアバウトを含むゾーンとしての土地を等価にする場合、ラウンドアバウトの外径が大きくなる。しかし L が例えば1kmを越えるなど、極端に大きくなってしまふ場合には、ラウンドアバウトの外径が過度に大きくなってしまい、その場合には文献[9]に従い一般的に使用される標準ラウンドアバウトの中で最大の外径を上限とし、余った土地に関しては、社会的に自由に利用してよい土地とする。

さらに本研究では、検討した基準等を導入したミクロスコピック交通流シミュレータを構築している。本シミュレータの活用例として交通制御方式の親和性の評価や、投資できる予算や使用電力等に制約を設けた場合の交通制御方式の配置方法の検討などがある。

4. 混在環境の評価

4.1. 評価方法

車両と歩行者を対象とした総合的な評価は実用上重要であるが、本稿では、混在環境の性能に伴う原則を導き出すことに主眼を置いており、複雑さを小さくするため純粋に車両交通流の観点から混在環境の性能評価を行う。

道路諸元は、連続した3交差点を対象とし、リンク長300m、右折専用車線のある両側3車線の信号化交差点と、流入道路が両側2車線、環道1車線の標準ラウンドアバウトを対象とする。交通諸元は、主道路と従道路の平均車頭間隔の比を1:2とする。直進・右左折希望確率に関しては、各交差点へ流入する交通量に偏りが出ないように、現実の交通状況としてありうる範囲で表1のように設定した。これは交通量の偏りが混在環境全体の性能に大きく影響を与えてしまう可能性を排除するためである。

各制御に用いるパラメータに関して、ラウンドアバウトの外径は、ラウンドアバウトと信号化交差点の道路接合部の扱いを平等とした道路接合部のパターンで算出し約54.5mになるが、文献[8]に則り45mとする。なおこの場合、約700~750m²の土地が余ることとなるが社会的に自由に利用可能とし本評価結果には反映さ

せていない。伝統的な信号制御方式のサイクルは40s~180sの範囲で20s刻み、スプリットは0.6,0.7,0.8で検討し、最適な値を使用した。なお伝統的な信号化交差点同士が隣接する配置の場合には、同サイクルで同じタイミングで、同じ方向に青が表示されるような連携だけでなく、同サイクル、逆位相で青、赤が切り替わるような連携についても検討している。ADS-II u方式の入力情報取得範囲は300mとし、デマンド関数のべき乗部、連携係数、速度荷重係数、アイドリング時間荷重係数はどれも0~1.0の範囲で0.2刻みつつ検討を行う。なお伝統的な信号制御方式とは連携しないものとする。

評価指標は、交差点利用者が1交差点を通過するのに不快と感じるような停止を含む低速走行時間(2m/s以下)の平均値とする。交通制御方式の配置に関しては、例えば図8のように配置し、同様にそのほかの配置の組み合わせに関しても性能評価を行う。

表1 直進・右左折希望確率

	左折[%]	直進[%]	右折[%]
主方向	10	80	10
従方向	20	60	20



図8 混在環境の例

4.2. 交通制御方式の導入個数に着目した評価結果

ラウンドアバウトとADS-II u方式の混在環境、ラウンドアバウトと伝統的な信号制御方式の混在環境、伝統的な信号制御方式とADS-II u方式の混在環境の3種の混在環境に関して、交通制御方式の個数に着目した評価結果を図9-11に示す。配置による違いは平均をとっている。結果に関しては、ある平均車頭間隔が長時間続く状況(静的な交通状況)による結果である。

結果として、主道路の平均車頭間隔が11s以下の交通状況ではラウンドアバウトの導入が混在環境全体としての性能を低下させていることから交通量の多い場所には信号化交差点の導入個数を増やすのが混在環境においても効果的であり、混雑時だけでなく閑散時も頻繁に訪れる交通需要の変化が激しい場所にはADS-II u方式の導入が効果的であることがわかる。また平均車頭間隔が20s以上となると、伝統的な信号制御方式以外の制御方式の導入個数を増やすと性能が良くなることから、交通量の少ない場所にはADS-II u方式またはメンテナンスコストなどを重視する場合にはラウンドアバウトの導入個数を増やすのが効果的である

ことがわかった。

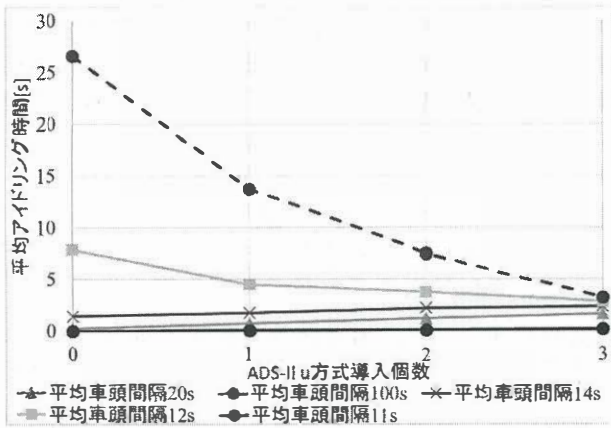


図9 個数による性能差(ラウンドアバウトとADS-II u方式の混在環境)

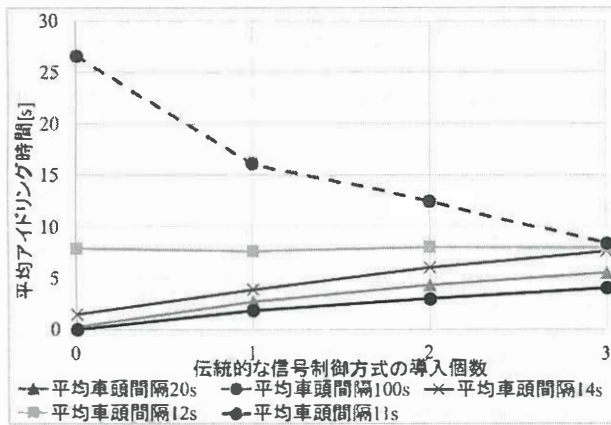


図10 個数による性能差(ラウンドアバウトと伝統的な信号制御方式の混在環境)

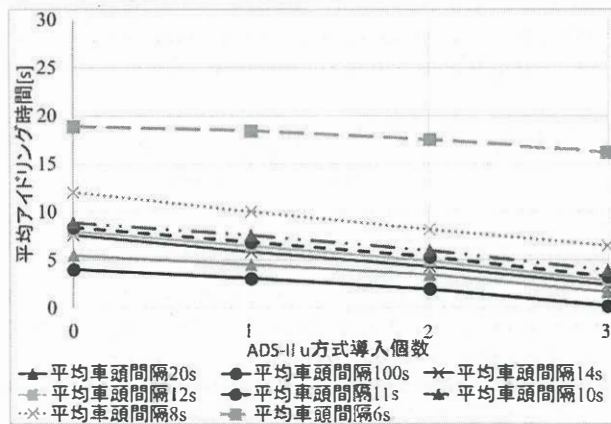


図11 個数による性能差(伝統的な信号制御方式とADS-II u方式の混在環境)

4.3. 交通制御方式の配置に着目した評価結果

ラウンドアバウトとADS-II u方式の混在環境, ラウンドアバウトと伝統的な信号制御方式の混在環境, 伝統的な信号制御方式とADS-II u方式の混在環境の3種の混在環境に関して, 交通制御方式の配置に着目した評価結果を図12-14に示す。各凡例は, 3交差点に対する交通制御方式の配置を表している。たとえば,

(Roundabout, ADS-II u, Roundabout)であれば, 両端の交差点をラウンドアバウトにし, ADS-II u方式を中央の交差点に導入した場合の配置を表している。

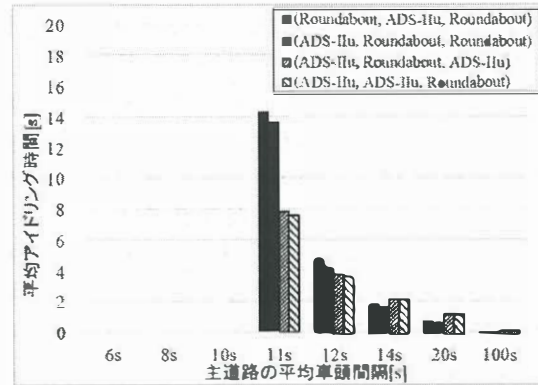


図12 配置による性能差(ラウンドアバウトとADS-II u方式の混在環境)

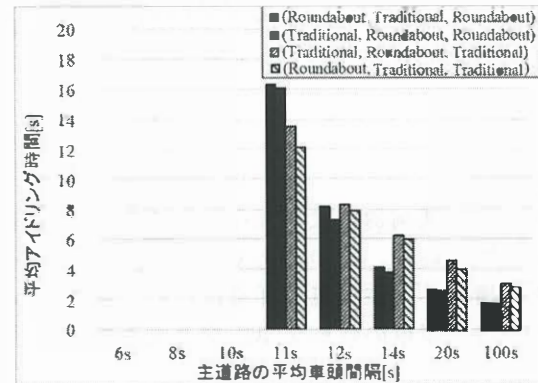


図13 配置による性能差(ラウンドアバウトと伝統的な信号制御方式の混在環境)

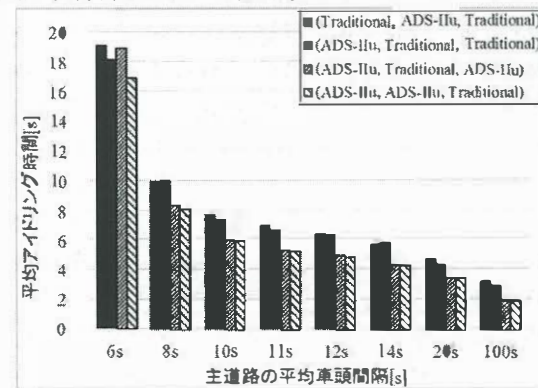


図14 配置による性能差(伝統的な信号制御方式とADS-II u方式の混在環境)

配置の違いによる大きな違いは見られなかったが平均車頭間隔ごとに分析していくと, まず平均車頭間隔が6s程度の混雑の場合, 信号制御方式に関しては混在環境においても連携させた方が有利だということがわかる。ラウンドアバウトと信号化交差点の混在環境による結果が空白の理由は, 評価を行いたい平均車頭間隔での評価が行えないほど評価エリアが混んでしま

い評価を打ち切ったためである。

つぎに平均車頭間隔が 11s 程度の場合、ラウンドアバウトと信号化交差点の混在環境では、ラウンドアバウトの導入個数が性能に大きく影響し、それと比べた場合、ラウンドアバウトを隣接させた場合とそうでない場合の配置による性能差は小さいことがわかる。また異なる信号化交差点の混在環境では、ADS-II u 方式を多く含む混在環境の方が、性能が良いことがわかる。

平均車頭間隔が 14s 以上の閑散時において、ラウンドアバウトと信号化交差点の混在環境では、ラウンドアバウトが多く含まれた混在環境と信号化交差点が多く含まれた混在環境の性能の優劣が逆転し、性能はラウンドアバウトの導入個数に依存する。また異なる信号化交差点の混在環境では ADS-II u 方式を多く含む混在環境の方が、性能が良いことがわかる。これはラウンドアバウトと信号化交差点の混在と同様、混在環境の性能は交通制御方式の配置には依存せず導入する交通制御方式の個数に性能が依存することを示している。

5. むすび

本稿では、交通制御方式が混在した場合の比較基準に関して整理を行い、そのうえで混在環境評価用シミュレータを構築し混在環境の評価を行い、連続する 3 交差点での混在環境の性能を車両交通流の観点で示した。

評価結果を交通制御方式の導入個数に着目してみると、閑散時、伝統的な信号制御方式の導入個数に対して ADS-II u 方式の導入個数やラウンドアバウトの導入個数を増やすことが効果的であることがわかった。特に平均車頭間隔が 20s 以上の閑散時が続く場合にはラウンドアバウトの導入が ADS-II u 方式以上の効果を発揮することが分かり、車両を効率的に捌きつつメンテナンスコストが安く、信号機を用いないエコな都市計画を行いたい場合にはラウンドアバウトを積極的に導入する街作りが良いと判断できる。

配置による性能差に関しては大きな性能差は見られなかったが交通制御方式の連携という観点で見ると、混雑している時は、連携可能な制御は可能な限り連携を考えた配置を考えるのが効果的であることを明らかにした。また閑散時には、どの混在環境においても、交通制御方式の配置に比べ導入する制御方式の個数に性能が依存することが分かった。

このことから次世代平面交差環境を設計するにあたって、連続する 3 交差点においては、基本的に配置よりも投資できる導入個数を重視し街作りを進め、交通量が多くなると予想される交差点においては、連携可能な制御に関してはなるべく連携させて配置してい

く平面交差環境の設計が良いということがわかった。

今後の課題として、交差点数を増やした場合やリンク長を短くした場合など、本論文の知見が、道路環境が変わっても普遍的な原則かどうかを検証することである。

文 献

- [1] 国際交通安全学会 H2420 プロジェクト, “ラウンドアバウトの社会実装と普及促進に関する研究,” 平成 25 年, 2 月.
- [2] 国際交通安全学会 H2425 プロジェクト, “安全でエコなラウンドアバウトの実用展開に関する研究,” 平成 25 年, 3 月.
- [3] 森岡仁志, 真野浩, 太田昌孝, 寺岡文男, “MIS プロトコルと PDMA による高速ハンドオーバー,” 信学技報, RCS2004-365, 2005.3.
- [4] 上條俊介, 松下康之, 池内克史, 坂内正夫, “時空間 Markov Random Field モデルによる隠れにロバストな車両トラッキングアルゴリズム,” 信学論 (D-II), Vol.J83-D-II, No.12, pp.2597-2609, 2000.12.
- [5] 長谷川孝明, “ITS プラットフォーム “EUPITS” — 実現へのアプローチ,” 信学技報, ITS2003-8, pp.41-47, 2003.5.
- [6] 加藤泰典, 長谷川孝明, “車両により制御される交通信号—交通信号のパラダイムの転換—,” 信学技報, ITS2000-33, pp.67-71, Sep.2000.
- [7] 岩岡浩一郎, 織田利彦, “リアルタイム交通信号最適化制御,” 土木計画学研究・講演集, Vol.25, 2002.
- [8] 森野美帆, 中島章, 堀口良太, 小根山裕之, 桑原雅夫, 越正毅, 赤羽弘和, “遅れ時間自己評価によるリアルタイム交通信号制御,” 土木計画学研究・論文集, Vol.20, No.4, pp.879-886, 2003.9.
- [9] W.Brilon, “A State of the Art in Germany,” National Roundabout Conference, Vail, Colorado, May. 22-25, 2005.
- [10] 馬淵大樹, 中村英樹, “車両間交錯度を考慮したラウンドアバウトと信号交差点の性能比較分析,” 交通工学, Vol.41, No.5, pp.69-79, 2006.
- [11] 麻生敏正, 長谷川孝明, “高度デマンド信号制御-II u 方式,” 信学技報, ITS2011-14, pp.25-30, Sep.2011.
- [12] 彌勒地進, 麻生敏正, 長谷川孝明, “ラウンドアバウトと信号化交差点の性能比較” 信学技報, ITS2009-104, pp.113-118, 2010.
- [13] 彌勒地進, 麻生敏正, 長谷川孝明, “ラウンドアバウトと信号化交差点における比較基準について,” 信学技報, ITS2010-25, pp.15-20, 2010.
- [14] A.G.Sims, K.W.Dobinson, “The Sydney Coordinated Adaptive Traffic (SCAT) System Philosophy and Benefits,” IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol.VT-29, No.2, pp.130-137, 1980.
- [15] 中村英樹, 浜岡秀和, “安全でエコなラウンドアバウトの被災地復興への貢献” 国際交通安全学会誌 Review, Vol.36, No.2, pp.127-132, 2011.10.